Avis Technique 3/10-669

Annule et remplace l'Avis Technique 3/07-502

Eléments de structure en béton armé et précontraint, renforcés par un procédé de collage de fibres de carbone.

Sika CarboDur®
SikaWrap®

Titulaire : SIKA
84, rue Edouard Vaillant
BP 104
93351 LE BOURGET

Commission chargée de formuler des Avis Techniques
(arrêté du 2 décembre 1969)

Groupe Spécialisé n°3

Structures, ossatures, planchers

Vu pour enregistrement le 24 janvier 2011



Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : www.cstb.fr

Le Groupe Spécialisé n° 3 "STRUCTURES, PLANCHERS ET AUTRES COMPOSANTS STRUCTURAUX" de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques, a examiné le 17 novembre 2010 les procédés de renfort à base de fibres de carbone, sous forme de lamelle dénommé Sika CarboDur et sous forme de tissu dénommé SikaWrap, exploité par la société SIKA. Il a formulé sur ces procédés l'Avis Technique ci-après, qui annule et remplace l'Avis Technique n°3/07-502.

1. Définition succincte

Procédé de renforcement d'éléments de structure, consistant à coller sur la surface des éléments visés un tissu de fibres de carbone ou des lamelles de carbone à l'aide d'une résine époxydique synthétique à deux composants.

Ce procédé est destiné à augmenter la capacité portante des éléments concernés, par fonctionnement mécanique conjoint élément-renfort, grâce à l'adhérence conférée par la résine après son durcissement, entre les deux matériaux.

1.1 Identification des composants

Les composants sont livrés sur le site de mise en œuvre de la manière suivante :

- Lamelle Sika CarboDur : présentation en rouleaux de 10,25, 50 ou 250 mètres. Les lamelles sont identifiées par un numéro de lot, imprimé à intervalles réguliers sur la face opposée à celle utilisée pour le collage,
- Sikadur-30 : en kits de 6 kg (composant de 4,5 kg, composant B : 1,5 kg)
- SikaWrap-230 C : présentation en rouleau de largeur de 300 ou 600 mm de longueur 50m.
- Sikadur-330 : livré en kit de 5 kg (composant A de couleur blanche, composant B de couleur grise)

2. L'AVIS

L'Avis qui est émis prend en compte le fait que ni la conception ni le dimensionnement du renforcement ne sont effectués par ou sous la responsabilité de SIKA.

2.1 Domaine d'emploi accepté

L'Avis n'est valable que si la température de la résine et du support au niveau du collage n'excède pas 35°C en service continu et 45°C en pointe.

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3 est celui couvrant les éléments entrant dans la constitution des bâtiments courants (habitations, bureaux, etc.) et des bâtiments industriels (supermarchés, entrepôts, etc.) Les éléments renforcés par le procédé sont en béton (armé ou précontraint).

Les éléments concernés sont sollicités par des charges à caractère principalement statique, comme c'est le cas dans les bâtiments administratifs, commerciaux, scolaires, hospitaliers, d'habitation, de bureaux, parkings pour véhicules légers (30 kN de charge maximale à l'essieu).

L'utilisation de ce procédé est limitée au renforcement des structures vis-à-vis d'actions rapidement variables.

L'utilisation en bâtiments industriels est admise tant que l'agressivité chimique ambiante peut être considérée comme normale et que les charges non statiques ne sont pas de nature répétitive entretenue pouvant donner lieu à fatigue. On peut citer, à titre d'exemple de charges exclues, les machines tournantes et les passages intensifs et répétés de camions.

Les utilisations autres que celles prévues au présent domaine d'emploi, notamment les renforcements d'éléments constitués de matériaux autres que le béton (maçonnerie ou bois) sortent du champ du présent Avis.

Le CPTP (paragraphe 2.3 du présent Avis) précise les conditions dans lesquels le renforcement par le procédé SIKA peut être envisagé.

L'Avis est émis pour les utilisations en France européenne (Métropole+Corse) et dans les Départements d'Outre-Mer.

L'utilisation de ce procédé en vue d'un renforcement vis-à-vis de sollicitations sismiques ou de toutes sollicitations susceptibles de changer de sens n'est pas examinée dans le cadre du présent Avis Technique.

2.2 Appréciation sur le procédé

2.21 Aptitude à l'emploi

2.211 Stabilité

L'examen des performances de durabilité des lamelles, au travers des essais effectués par le demandeur, permet de conclure que le procédé conduit à l'augmentation des capacités résistantes des éléments renforcés, conformément aux modèles de calcul développés dans le Dossier Technique établi par le demandeur, à condition de respecter strictement les prescriptions données dans le CPTP du présent Avis.

2.212 Sécurité au feu

2.2121 Réaction au feu

En l'absence de Procès Verbal de réaction au feu, les procédés Sika CarboDur et SikaWrap sont non classés ou F au sens des Euroclasses.

2.2122 Résistance au feu

En ce qui concerne la résistance au feu, le procédé SIKA non protégé ne participe pas à la tenue des éléments renforcés. Lorsqu'une protection au feu est prévue par-dessus le composite, elle devra justifier d'un essai de résistance au feu, effectué sur un support identique, par un Laboratoire agréé par le Ministère de l'Intérieur. L'attention est attirée sur le fait que les caractéristiques mécaniques de la colle diminuent rapidement lorsque la température augmente.

2.213 Prévention des accidents lors de la mise en œuvre ou de l'entretien

Pour la manipulation de la colle et son application, il y a lieu de respecter les prescriptions du Code du travail concernant les mesures de protection relatives à l'utilisation des produits contenant des solvants, utilisés pour le nettoyage des outils. En dehors de ce point, les conditions de mise en œuvre ne sont pas de nature à créer d'autre risque spécifique.

2.22 Durabilité – entretien

La durabilité des éléments renforcés est normalement assurée dans le domaine d'emploi accepté.

Comme précisé à l'article 2.1, cet Avis ne vise pas les utilisations en locaux (ou ambiances) suivants :

1. atmosphère agressive
2. lorsque la température est susceptible de dépasser 45°C en pointe (durée de maintien de cette valeur inférieure à 24 heures).

En effet, pour ces deux cas, la stabilité des caractéristiques mécaniques de la colle n'est pas démontrée.

Dans le cas où des dégradations (chocs, abrasion, etc.) sont possibles, une protection mécanique du renforcement est à prévoir.

2.23 Fabrication et contrôles

Les éléments entrant dans la constitution du procédé sont fabriqués dans des usines spécialisées.

La fabrication du tissu, des lamelles, ainsi que celle de la colle, font l'objet d'un plan d'assurance-qualité dans les usines concernées.

2.24 Finitions

Lorsque des revêtements (notamment peintures) sont prévus sur le renforcement, ils doivent avoir fait l'objet d'essais préalables validant leur adhérence sur la matrice époxydique des composites.

2.3 Cahier des prescriptions techniques particulières

2.31 Conditions de conception et de calcul

Le dimensionnement du renforcement doit être réalisé par un bureau d'études de structure.

Le procédé de renforcement peut être justifié selon l'Eurocode 2, en évaluant les capacités résistantes avant et après renforcement selon l'Eurocode 2 et par analogie aux méthodes développées avec le BAEL, présentées ci-dessous et dans le Dossier Technique.

2.311 Justification à la rupture

Cette justification consiste en une vérification de l'élément à la rupture, toutes redistributions effectuées, et sans tenir compte du renforcement, sous la combinaison rare $G+Q_1+\Sigma\psi_{oi}Q_i$, où G représente la sollicitation due à la charge permanente et $\Sigma\psi_{oi}Q_i$ celle due aux charges de courte durée d'application dites d'accompagnement de l'action de base Q_1, y compris s'il y a lieu les charges climatiques et celles dues aux instabilités.

Toutefois, cette justification n'est pas à effectuer si :

- **(R_1) ≥ 0,63 (S_2)**, dans le cas d'un élément principal, dont la rupture est susceptible d'entraîner celle d'autres éléments (poutre porteuse, par exemple),
- **(R_1) ≥ 0,50 (S_2)**, dans le cas d'un élément secondaire, dont la rupture n'est pas susceptible d'entraîner celle d'autres éléments (panneaux de dalles de planchers posés sur poutres, par exemple).

Avec, dans ces expressions :

R1 : capacité résistante à l'ELU, en situation fondamentale, de l'élément non renforcé.

S2 : sollicitation agissante à l'ELU, en situation fondamentale, sur l 'élément renforcé.

2.312 Renforcement des éléments en béton armé vis-à-vis du moment de flexion

Les justifications à effectuer, vis-à-vis du moment de flexion, pour les éléments en béton renforcés par les lamelles Sika CarboDur, sont les suivantes :

Calcul à l'ELS : ce calcul est effectué selon les hypothèses classiques du béton armé, en tenant compte de l'historique du chargement et du renforcement (y compris un éventuel déchargement ou vérinage provisoire en cours de travaux). Ceci conduit à superposer les états de contraintes relatifs aux deux situations suivantes :

- ouvrage non renforcé, soumis aux sollicitations initiales, appliquées au moment où l'on entame les travaux de renforcement,
- ouvrage renforcé, soumis aux sollicitations additionnelles.

Cette justification est menée en prenant en compte un coefficient de sécurité de 2,15 sur la contrainte à rupture des lamelles Sika CarboDur, et en limitant la contrainte finale dans les armatures tendues existantes tel que décrit dans le Dossier Technique établi par le demandeur aux paragraphes 10.13 et et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le dossier technique établi par le demandeur : en plus des hypothèses classiques sur le béton et l'acier, la déformation du procédé Sika CarboDur est limitée à 8,5 ‰ pour le type S, 6,5 ‰ pour le type M, et le coefficient de sécurité adopté sur la contrainte à cet allongement est de 1,9.

Vérification du glissement à l'interface composite-béton **:** cette vérification consiste à s'assurer que la contrainte de cisaillement à l'interface composite-béton n'excède pas la valeur de la contrainte limite de cisaillement. Cette valeur limite s'appuie dans tous les cas sur des essais de pastillage à effectuer in situ sur le support après préparation, dans l'état dans lequel il est destiné à recevoir le renforcement.

La valeur de la contrainte de cisaillement limite à retenir pour le dimensionnement est calculée de la manière suivante, à partir de la résistance caractéristique f_{tk} obtenue par les essais de pastillage :

A l'ELS : $\bar{\tau} = \mathrm{Min}(1{,}5\,\mathrm{MPa}\,;\frac{f_{tk}}{2})$

A l'ELU (fondamental et accidentel) : $\bar{\tau}_u = \mathrm{Min}(2\,\mathrm{MPa}\,;\frac{f_{tk}}{1{,}5})$

2.313 Renforcement des éléments en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant.

Le renforcement des dalles vis-à-vis de l'effort tranchant n'est pas visé dans le cadre du présent Avis Technique.

Le renforcement n'est pas admis dans le cas d'un moment négatif sur l'appui considéré. Dans ce cas, la poutre ainsi renforcée doit être justifiée vis-à-vis de l'effort tranchant, en ne tenant compte que de la retombée sous dalle.

Calcul à l'ELU : ce calcul est mené conformément aux détails donnés dans le dossier technique établi par le demandeur : en plus des hypothèses classiques sur le béton et l'acier, la déformation du tissu est limitée à 6 $^0/_{00}$ et le coefficient de sécurité adopté sur la contrainte à cet allongement est de 1,15 en situation fondamentale comme en situation accidentelle.

Les deux vérifications à effectuer, vis-à-vis de l'effort tranchant, pour les éléments en béton renforcés par les tissus en fibre de carbone (SikaWrap) établi par le demandeur sont à effectuer. Il s'agit :

- de la vérification en traction du composite,
- de la vérification de non-glissement du plan de collage.

2.314 Renforcement de poteaux en béton armé par confinement

Le renforcement par le procédé SikaWrap peut-être utilisé pour augmenter la capacité portante des poteaux sollicités en compression. Le dimensionnement du renforcement est effectué conformément aux dispositions décrites au paragraphe 12 du Dossier technique établi par le demandeur. Seuls les confinements (discontinu ou total) sans renfort longitudinal sont visés dans cet avis.

2.32 Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre doit être effectuée dans les strictes conditions définies dans le dossier technique établi par le demandeur, notamment pour ce qui concerne le nettoyage et la préparation des supports ainsi que la réalisation des essais de convenances sur ce même support. Il est précisé que ces essais doivent être effectués pour chaque chantier et pour tous les supports visés par le présent Avis Technique.

L'entreprise mettant en œuvre le procédé doit justifier d'une formation spécifique à ce type de renforcement.

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation des procédés de renforcement Sika CarboDur – SikaWrap dans le domaine d'emploi accepté, et moyennant le respect du Cahier des Prescriptions Techniques Particulières (Paragraphe 2.3 du présent Avis), est appréciée favorablement.

Validité

5 ans, jusqu'au 30 novembre 2015

Pour le Groupe Spécialisé n° 3
Le Président
J.-P. BRIN

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n°3 tient à souligner que le procédé présenté, bien que comparable au procédé de renforcement par tôles collées, présente des possibilités supérieures à ce dernier, notamment en ce qui concerne l'exécution et la maîtrise de l'encollage.

En ce qui concerne la température, le Groupe Spécialisé n°3 a fixé une limite en service continu de 35°C. Cette valeur a été déterminée en fonction de la température de transition vitreuse de la colle dans des conditions spécifiques d'essais afin d'assurer une marge de sécurité suffisante vis-à-vis de la diminution significative du module de la colle.

Il est souligné que le renforcement structural d'un ouvrage existant quelle que soit la technique de renforcement utilisée, doit faire suite à un diagnostic préalable de qualification de cet ouvrage (détermination des capacités résistantes). Un tel diagnostic peut se révéler lourd et imprécis, étant notamment fonction de la qualité des maté-

riaux, des dispositions internes souvent non accessibles (armatures, par exemple) et d'une manière générale de « l'histoire » de l'ouvrage. L'attention du Maître d'œuvre est donc attirée sur la nécessité qu'il y a à faire effectuer un diagnostic aussi précis que possible, permettant de dimensionner et de mettre en œuvre les renforcements de manière pertinente.

L'attention est attirée sur le fait que les Règles AFGC relatives aux éléments renforcés par composites fixent une température minimale de service continu de -10°C.

Enfin, le Groupe souhaite attirer l'attention sur le fait que la cohérence des règles de dimensionnement doit être respectée. A la date de formulation du présent Avis, la finalisation des règles de calcul par l'AFGC selon l'Eurocode 2 est imminente.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé
n° 3
N. RUAUX

Dossier Technique
établi par le demandeur

A. Description

1. Objet - Définition

Les procédés **Sika® CarboDur®** et **SikaWrap®** sont des procédés utilisés pour la réparation et le renforcement structural des ouvrages de bâtiment et de génie civil.

Le procédé **Sika® CarboDur®** est un système de **P**olymère **R**enforcé de **F**ibres de **C**arbone (PRFC) qui se compose de lamelles pultrudées, fabriquées en usine, Sika® CarboDur® associées à l'adhésif structural Sikadur®-30.

Le procédé **SikaWrap®** est un système qui se compose d'un tissu SikaWrap®-230 C/45 - tissu unidirectionnel de renforcement de structures, à base de fibres de carbone, applicable sans primaire, « à sec » (sans imprégnation préalable) et associé à la résine d'imprégnation Sikadur®-330.

Le présent document définit les produits utilisés, leurs modalités de mise en œuvre et de contrôle pour l'exécution des travaux ainsi que le dimensionnement.

2. Domaine d'application

Le présent document concerne les structures neuves ou anciennes de bâtiment, en béton armé ou précontraint.

Les procédés s'appliquent, après diagnostic, à toute structure d'ouvrages neuf ou anciens pour laquelle une augmentation de la capacité portante est recherchée.

Ils permettent de réparer ou de renforcer les structures :

- Accroître la résistance à la flexion (moments positifs et négatifs) et aux efforts de traction (procédé **Sika® CarboDur®**)
- Accroître la résistance à l'effort tranchant, accroître la résistance en compression de poteau par confinement (procédé **SikaWrap®**).

Ces procédés sont particulièrement adaptés pour traiter les cas suivants :

- Renforcement de structures difficiles d'accès ou encombrées par des gaines, tuyauteries, etc,
- Augmentation des charges d'exploitation,
- Ferraillage insuffisant par conception, défaut de positionnement,
- Création d'ouvertures : trémies, …
- Endommagement de l'existant : corrosion ou sectionnement d'armatures, dommage par accident,
- Amélioration des conditions de service : réduction de flèche de plancher, réduction des contraintes dans les armatures, réduction d'ouverture de fissures.

Par rapport à d'autres techniques de renforcement de structures, les procédés **Sika® CarboDur®** et **SikaWrap®** se caractérisent par :

- Une mise en œuvre aisée, sans moyens auxiliaires lourds, (absence de systèmes de placage, de répartition d'effort de serrage, de maintien en place pendant le durcissement de l'adhésif structural)
- Un faible poids propre (pas de surcharge de l'existant, facilité et rapidité de manutention lors de la mise en œuvre),
- Une inertie en atmosphère agressive (absence de corrosion, réduction des coûts de maintenance).

3. Matériaux utilisés, identification, performances

3.1 Sika® CarboDur®

3.11 Sika® CarboDur® lamelles

3.111 Présentation

Les lamelles Sika® CarboDur® sont des PRFC (Polymères Renforcés de Fibres de Carbone) fabriqués selon le procédé de pultrusion en usine.

Contrairement aux tissus que l'on imprègne sur chantier, les conditions de fabrication des lamelles sont strictement contrôlées ce qui permet de garantir les caractéristiques du PRFC. (Voir caractéristiques garanties ci-dessous).

L'usine suit un plan d'assurance qualité et assure le contrôle régulier de la production.

La matrice est composée de fibres de carbone noyées dans de la résine époxydique.

- Couleur : noir
- Pourcentage volumétrique de fibres : > 68 %. (type S et M)
- Densité : 1,6.
- Résistance à la température de la lamelle > 150°C
- Présentation en rouleaux de 10, 25, 50 et 250 mètres selon les références
- Dimensions :

Sika® CarboDur® S * Type S : Module Elasticité E=165 000 MPa	Largeur	Epaisseur	Section
Sika® CarboDur® S512/80 *	**50 mm**	**1,2 mm**	**60 mm²**
Sika® CarboDur® S613/100	60 mm	1.3 mm	78 mm²
Sika® CarboDur® S812/120 *	**80 mm**	**1.2 mm**	**96 mm²**
Sika® CarboDur® S912/140	90 mm	1.2 mm	108 mm²
Sika® CarboDur® S1012/160 *	**100 mm**	**1,2 mm**	**120 mm²**
Sika® CarboDur® S1014/180	100 mm	1,4 mm	140 mm²
Sika® CarboDur® S1213/200	120 mm	1,3 mm	156 mm²
Sika® CarboDur® S1214/220	120 mm	1,4 mm	168 mm²
Sika® CarboDur® S1512/240 *	**150 mm**	**1,2 mm**	**180 mm²**

* tenu en stock

Sika® CarboDur® M Type M : Module Elasticité E=210 000 MPa	Largeur	Epaisseur	Section
Sika® CarboDur® M614/110	60 mm	1,4 mm	84 mm²
Sika® CarboDur® M914/170	90 mm	1,4 mm	126 mm²
Sika® CarboDur® M1014/190	100 mm	1,4 mm	140 mm²
Sika® CarboDur® M1214/230	120 mm	1.4 mm	168 mm²

Le nombre indiqué en fin de dénomination (après le « / ») correspond à l'effort de calcul repris par la lamelle à 0,85 % d'allongement:

Exemple pour la lamelle Sika® CarboDur® S512**/80** : le renfort peut être pré dimensionné en prenant en compte un effort de **80 kN**.

3.112 Identification :

Les lamelles Sika® CarboDur® sont identifiées par un numéro de lot (exemple : Batch N° X1234567) imprimé à intervalles réguliers (tous les 2 mètres environ).

3.113 Caractéristiques des lamelles Sika® CarboDur®

	Type S	Type M
Module d'élasticité E * (valeur moyenne)	165 000	210 000
Module d'élasticité * (valeur minimum)	> 160 000	> 200 000
Module d'élasticité Fractile 5%	162 000	210 000
Module d'élasticité Fractile 95%	180 000	230 000
Résistance en traction* (valeur moyenne)	3 100	3 200
Résistance en traction* (valeur minimum)	> 2 800	> 2 900
Résistance en traction Fractile 5%	3 000	3 000
Résistance en traction Fractile 95%	3 600	3 600
Elongation à rupture * (valeur minimum)	> 1,70 %	> 1,35 %

* Valeurs obtenues dans le sens longitudinal des fibres

** Déformation maximale utilisable pour le calcul

3.12 Sikadur®-30

3.121 Présentation

- Le **Sikadur®-30** est une colle époxydique à deux composants sans solvant, de couleur gris clair, utilisé pour le collage de la lamelle **Sika® CarboDur®**:
  - Composant A : résine (couleur blanc)
  - Composant B : durcissement (couleur noir).

Conformément à la norme **NF EN 1504-9**, il fait partie des produits de collage de renforts structuraux, principe 4 Renforcement Structural, méthode 4.3 Renforcement par plats collés.

Ses caractéristiques ont été mesurées conformément à la norme **NF EN 1504-4**.

De plus il fait l'objet du **marquage CE** obligatoire sur ces produits pour l'utilisation en collage structural, **sous système d'attestation 2+** (Essais sur produits réalisés en usine, avec inspection et surveillance continue de la production en usine par un tiers externe).

- Conditionnement : kits de 6 kg.

3.122 Identification

Chaque emballage est identifié par un numéro de lot à relever lors de l'auto contrôle.

3.123 Performances

Densité	1,65 kg/l (mélange A+B, à +23°C)
Aptitude à la mise en place sur surfaces verticales selon la FIP	aucun affaissement jusqu'à 3-5 mm d'épaisseur à +35°C.
Ecrasement selon la FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte)	4.000 mm2 à +15°C à 15 kg
Epaisseur par couche	30 mm max.
Retrait (FIP)	0,04%
Coefficient Dilatation Thermique	2,5 .10-5 par °C (température de -20°C à +40°C)

Stabilité Thermique	Température de transition vitreuse (T_g)		
	Temps de durcissement	Température de durcissement	Tg
selon la FIP	7 jours	+45°C	+62°C
selon la norme ASTM-D 648	3 h	+80°C	+53°C
	6 h	+60°C	+53°C
	7 jours	+35°C	+53°C
	7 jours	+10°C	+36°C
Température en service	-40°C à +45°C (après durcissement à temp. > +23°C)		
Résistance en compression en MPa	(selon la norme EN 196)		
		Température de durcissement	
	Temps de durcissement	+10°C	+35°C
	12 h	-	80-90
	1 jour	50 - 60	85-95
	3 jours	65 - 75	85-95
	7 jours	70 - 80	85-95
Résistance en cisaillement en MPa	Rupture du béton (~ 15 MPa) selon FIP 5.15		
	Température de durcissement		
	Temps de durcissement	+15°C	+35°C
	1 jour	3 -5	15-18
	3 jours	13-16	16-19
	7 jours	14-17	16-19
	18 MPa (7 jours à +23°C) (selon la norme DIN 53283)		
Résistance en traction en MPa	(selon la norme DIN 53455)		
	Température de durcissement		
	Temps de durcissement	+15°C	+35°C
	1 jour	18 - 21	23-28
	3 jours	21 - 24	25-30
	7 jours	24 - 27	26-31
Dureté Shore D	≥ 70 (après 48 h à 23°C)		
Adhérence	Adhérence sur béton > 4 MPa avec rupture dans le support (procédure de la FIP) Adhérence sur acier > 21 MPa selon la norme EN 24624, sur support sablé suivant le degré Sa. 2,5. (Valeur moyenne > 30 MPa).		
Module d'Elasticité	En compression : 9600 MPa selon la norme ASTM D695 (à + 23°C) En traction : 11200 MPa selon norme ISO 527 (à + 23°C)		

3.13 Durabilité

Durabilité du système lamelle Sika® CarboDur® / adhésif structural Sikadur®-30 :

Le système Sika® CarboDur® / Sikadur®-30 a fait l'objet des essais de durabilité suivants.

Adhérence sur béton après cycles de vieillissement accéléré (pluie, gel, dégel, chaleur humide, chaleur sèche, UV).

Ces essais ont été réalisés sur le système seul (Sika® CarboDur® / Sikadur®-30) ainsi que sur le système revêtu par le revêtement de protection Sikagard®-675 W ElastoColor, conforme à la norme NF EN 1504-2. Dans chaque cas, le système a été testé dans 4 conditions de température et d'humidité différentes pour refléter les cas particuliers qu'il est possible de rencontrer sur chantier, ainsi que pour tester les systèmes jusqu'à leurs limites d'utilisation.

Résultat de l'essai de traction directe avant et après vieillissement climatique accéléré (selon la norme NF EN 1542) : Adhérence > 5 MPa avec rupture dans le support béton.

Tenue aux UV

Les essais ont été menés sur le système seul et sur le système revêtu des revêtements de la gamme Sikagard® (Sikagard®-550 W Elastic, Sikagard®-675 W ElastoColor, Sikagard®-680 S BetonColor). Deux tests ont été pratiqués : le Sun test- 1000 heures (UV seuls) et le QUV test - 3000 heures (UV et Chaleur Humide).

Résultats : Pas de dégradations observées. (rapport d'essais interne n°33001-10 ; 01/2010)

Performances après 12 mois de vieillissement accéléré en enceinte climatique à 40°C et 95% HR.

Les matériaux seuls ainsi que l'assemblage béton/adhésif/lamelle ont subi les essais suivants:

- Essais de cisaillement sur support béton
- Essai de traction directe
- Essais spécifiques sur la résine Sikadur®-30.

Les mesures ont été faites à intervalles réguliers afin de suivre l'évolution des performances des matériaux et de leur assemblage.

Résultats : après 18 mois sous les conditions climatiques de l'essai, les performances des assemblages sont conservées, même si une évolution du mode de rupture est observée (passage d'un mode cohésif dans le béton à un mode adhésif/cohésif dans la colle et/ou interface). (rapport LCPC-LRPC Autun n°20 112-A, Février 2010).

3.2 Procédé SikaWrap®

3.21 SikaWrap®-230 C/45

3.211 Présentation

Le SikaWrap®-230 C/45 est un tissu unidirectionnel de renforcement de structures, à base de fibres de carbone, applicable « à sec » (sans imprégnation préalable et sans primaire).

- Masse surfacique : 230 g/m² + 10 g/m²
- Epaisseur : 0,13 mm
- Densité des fibres : 1,76 g/cm³
- Rouleaux de longueur 50 m, de largeur 300 mm ou 600 mm.
- Couleur noire.
- Constitution : 99% fil de chaîne, 1% fil de trame. Le tissu est muni de fils de trame spéciaux, donnant une bonne stabilité dimensionnelle (heat-set process).

3.212 Identification

Le numéro de lot figure sur l'étiquette apposée sur le carton d'emballage.

3.213 Performances des fibres

Résistance en traction	4300 MPa
Module d'élasticité en traction	234 000 MPa
Allongement à la rupture	1,8 %

3.22 Sikadur®-330

3.221 Présentation

Le Sikadur®-330 est la résine d'imprégnation du tissu SikaWrap®-230 C/45.

Conformément à la norme **NF EN 1504-9**, il fait partie des produits de collage de renforts structuraux, principe 4 Renforcement Structural, méthode 4.3.

Ses caractéristiques ont été mesurées conformément à la norme **NF EN 1504-4**.

De plus il fait l'objet du **marquage CE** obligatoire sur ces produits pour l'utilisation en collage structural, **sous système d'attestation 2+** (Essais sur produits réalisés en usine, avec inspection et surveillance continue de la production en usine par un tiers externe).

- Résine bi-composant :
  - Composant A : résine de couleur blanche,
  - Composant B : durcisseur de couleur grise.
- Consistance crémeuse
- Conditionnement : kit de 5 kg

3.222 Identification

Chaque emballage est codifié et porte un numéro de lot qui doit être relevé lors de l'auto contrôle.

3.223 Performances

- Densité : 1,3 environ
- DPU :

15°C	20°C	35°C
2 h	35 min	25 min

Résistance à la compression	≥ 55 MPa à 2 jours et 20°C
Résistance en traction	30 MPa (7 jours à +23°C) DIN 53455)
Adhérence	> 4 MPa rupture dans le béton (EN 24624)
Module d'Elasticité	En Flexion: 3800 MPa (7 jours à +23°C) DIN 53452 En Traction: 4500 MPa (7 jours à + 23°C) DIN 53455
Allongement à rupture	0,9% (7 jours à +23°C) (selon la norme DIN 53455)
Dureté shore D	> 70 à 2 jours et 20°C

3.23 Composite SikaWrap®-230 C/45 - Sikadur®-330

Les performances indiquées ci-après ont été mesurées en laboratoire après 7 jours de durcissement à 23°C et sont issues de statistiques (valeurs moyennes au niveau de confiance 95 %).

Résistance en traction	750 MPa
Module d'élasticité en traction	55 000 MPa
Allongement à la rupture	1,15 %

Effort repris à 0,6% d'allongement par une couche de SikaWrap®-230 C/45 avec Sikadur®-330

- 45 kN / pour une bande de largeur 30 cm
- 90 kN / pour une bande de largeur 60 cm

3.24 Durabilité

Tenue aux UV

Les essais ont été menés sur le système seul et sur le système revêtu des revêtements de la gamme Sikagard® (Sikagard®-550 W Elastic, Sikagard®-675 W ElastoColor, Sikagard®-680 S BetonColor). Deux tests ont été pratiqués : le Sun test- 1000 heures (UV seuls) et le QUV test - 3000 heures (UV et Chaleur Humide).

Résultats : Pas de dégradations observées. (rapport d'essais interne n°33001-10 ; 01/2010)

Performances après 18 mois de vieillissement accéléré en enceinte climatique à 40°C et 95% HR.

Les matériaux seuls ainsi que l'assemblage béton/composite ont subi les essais suivants:

- Essais de cisaillement sur support béton
- Essai de traction directe (pastillage)
- Essais spécifiques sur la résine Sikadur®-330.

Les mesures ont été faites à intervalles réguliers afin de suivre l'évolution des performances des matériaux et de leur assemblage.

Résultats : après 18 mois sous les conditions climatiques de l'essai, les performances des assemblages sont conservées, même si une évolution du mode de rupture est observée (passage d'un mode cohésif dans le béton à un mode adhésif/cohésif dans la colle et/ou interface). (rapport LCPC-LRPC Autun n°20 112-B, Février 2010).

3.3 Produits complémentaires

3.31 Sikadur®-52 Injection

- Résine époxydique à deux composants sans solvant, de couleur jaune ambré :
  - Composant A : résine
  - Composant B : durcisseur
- Elle est utilisée pour injecter les fissures du support avant le renforcement.
- Densité : 1 environ.

3.32 Sikadur®-41F

- Mortier époxydique à trois composants sans solvant, de couleur grise :
  - Composant A : résine
  - Composant B : durcisseur,
  - Composant C : charges.
- Il est utilisé pour les ragréages et surfaçages localisés du support.

- Densité : 1,5 environ.

3.33 Sika® MonoTop®- 412N

- Mortier de réparation du béton, mono composant, applicable manuellement, ou par projection voie humide ou sèche.
- Classe R4 selon norme NF EN 1504-3 (réparation structurale et non structurale)

3.34 Nettoyant Sikadur

- Il est utilisé pour nettoyer et dégraisser les lamelles Sika® CarboDur® avant l'encollage.

3.35 Sikagard®-550 W Elastic

- Revêtement monocomposant élastique en phase aqueuse destiné à recouvrir les lamelles Sika® CarboDur® ou le composite SikaWrap®-230 C/45 – Sikadur®-330.
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.

3.36 Sikagard-680 S BetonColor

- Revêtement méthacrylate coloré, en phase solvant, destiné à recouvrir les lamelles Sika® CarboDur® ou le composite SikaWrap®-230 C/45 – Sikadur®-330.
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.

3.37 Sikagard-675 W ElastoColor

- Revêtement monocomposant en phase aqueuse destiné à recouvrir les lamelles Sika® CarboDur® ou le composite SikaWrap®-230 C/45 – Sikadur®-330.
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.

3.38 SikaTop-107 Protection

- Micro-mortier à base de lient hydraulique destiné à recouvrir les lamelles Sika® CarboDur® ou le composite SikaWrap®-230 C/45 – Sikadur®-330.
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.

3.39 SikaTop-121 Surfaçage

- Mortier de surfaçage à base de liant hydraulique modifié destiné à recouvrir les lamelles Sika® CarboDur® ou le composite SikaWrap®-230 C/45 – Sikadur®-330.
- Protection vis-à-vis des rayons solaires directs, des ambiances environnementales agressives.

4. Agréments – Essais officiels

Procédé Sika® CarboDur® :

- Marquage CE de l'adhésif structural Sikadur-30
- Rapport de Thèse de l'Université d'Artois à Béthune (E.DAVID, janvier 1999).
- Homologation du procédé en Allemagne: Zulassung du Deutsches Institut für Bautechnik n°Z-36.12-29.
- Essai de tenue aux UV du composite
- Essai d'adhérence sur béton, par traction directe, par cisaillement, avant et après vieillissement accéléré.
- Essai de traction uni axiale et de cisaillement interlaminaire, avant et après vieillissement accéléré.

Procédé SikaWrap®:

- Rapport essais EPFL n°97.02 Carbon fiber shear strengthening of rectangular concrete beams
- Rapport essais EMPA n°405552E shear strengthening with CFRP fabric
- Rapport essais EMPA n°200137E/1 shear strengthening with CFRP fabric
- Marquage CE de l'adhésif structural Sikadur®-330
- Essai de tenue aux UV du composite
- Essai d'adhérence sur béton, par traction directe, par cisaillement, avant et après vieillissement accéléré.
- Essai de traction uni axiale et de cisaillement interlaminaire, avant et après vieillissement accéléré.

5. Travaux préparatoires

5.1 Généralités

Le bon fonctionnement d'une réparation ou d'un renforcement par le procédés Sika® CarboDur® et SikaWrap® exige un support de bonne qualité. Les caractéristiques indiquées ci-après sont considérées comme minimales :

- Cohésion superficielle après préparation du support : ≥ 1,5 MPa (essai de traction directe),
- Support sec et âgé de 28 jours au moins. On entend par support sec, un béton ayant une humidité inférieure à 5 %.

Dans tous les cas, conformément à la norme NF EN 1504-10, un diagnostic général de la structure et en particulier du support par un organisme spécialisé est recommandé pour déterminer notamment l'état du béton et des aciers (présence, positionnement, état de corrosion). Cet aspect est important, car les armatures internes sont à considérer dans le calcul des renforts PRFC.

La réparation des dégradations superficielles du béton doit être traitée en se référant aux normes NF P 95-101, NF EN 1504-10 et NF EN 1504-3, en utilisant un mortier de réparation de la gamme Sika® MonoTop® (par exemple le Sika® MonoTop®-412N) ou de la gamme Sikadur® (Sikadur®-30, Sikadur®-41F). .

5.2 Préparation du support

La préparation a pour objet d'éliminer toute trace superficielle d'huile, de graisse, de laitance, d'anciens revêtements, de produit de décoffrage et autres salissures et de toute partie hétérogène ou ne présentant pas une cohésion superficielle minimale de 1,5 MPa.

Les supports contaminés par la pénétration de chlorures, sulfates, graisses, doivent être traités afin d'éliminer le béton support pollué.

La préparation du support peut être réalisée par sablage, grenaillage, décapage au marteau à aiguilles, ponçage au disque diamanté,…

L'entreprise retient le moyen le mieux adapté en fonction de la qualité du support, de la présence d'une peinture ou d'un revêtement, des conditions d'environnement,…

Pour le procédé SikaWrap®, les arêtes vives doivent être arrondies, jusqu'à un rayon d'au moins 20 mm, par exemple par ponçage au disque diamanté.

Dans tous les cas, le support après préparation doit être soigneusement dépoussiéré à l'aide d'un aspirateur industriel.

5.3 Planéité du support

- Après préparation, la tolérance de planéité du support est fixée à 10 mm sous la règle de 2 m.
- Balèvres de coffrage et saillies ne doivent pas excéder 0,5 mm.
- Si ces conditions ne sont pas vérifiées, il faut procéder à des ragréages ponctuels à l'aide du produit Sikadur®-41F, Sikadur®-30 ou Sika® MonoTop®-412N.

5.4 Réception du support

Après préparation du support, il doit être procédé à sa réception.

Elle doit comporter :

- Le contrôle de la planéité,
- La mesure de la cohésion superficielle par des essais de traction directe,
- Le relevé des fissures éventuelles.

5.5 Dispositions correctives

Elles comprennent notamment :

- Les reprises de la planéité par ragréage Sikadur®-41F ou Sika® MonoTop®-412N pour rentrer dans les tolérances définies au paragraphe 6.3. S'il s'agit de défauts de faibles dimensions et très locaux, le Sikadur®-30 peut être utilisé.
- L'injection des fissures d'ouverture supérieure à 0,3 mm avec le Sikadur®-52 Injection afin de recréer le monolithisme des éléments de structure et d'éviter toute discontinuité de la surface de collage.
- Lorsque le diagnostic et la préparation du support ont mis en évidence des désordres liés à l'oxydation des armatures internes (fissures, épaufrures…), il est nécessaire, préalablement à l'opération de renforcement, de réparer la zone d'enrobage (consulter la norme NF EN 1504-10, et NF P 95101).

6. Mise en œuvre

6.1 Qualification de l'entreprise spécialisée applicatrice des procédés Sika® CarboDur® et SikaWrap®

Le Maître d'ouvrage, le Maître d'œuvre, doivent faire appel à une entreprise spécialisée pour la réalisation des travaux de réparation et

de renforcement des structures. L'entreprise retenue doit être qualifiée, expérimentée, assurée pour la réalisation de ces travaux dits « spéciaux ». Le personnel doit être spécialement formé par le service technique Sika pour l'application des composites PRFC et des produits associés.

6.2 Procédé Sika® CarboDur®

6.21 Préparation de la lamelle Sika® CarboDur®

- Découper la lamelle à la longueur définie par le Bureau d'Etudes, à l'aide d'une scie à métaux ou au disque diamant à tronçonner.
- Nettoyer et dégraisser la face à encoller (face opposée à celle qui fait l'objet du marquage du numéro de lot) avec le Nettoyant Sikadur.

6.22 Préparation du Sikadur®-30

Lors de la mise en œuvre, la température du produit du support et de l'ambiance doit être comprise entre + 5°C et + 40°C.

L'humidité relative doit être inférieure à 80 %. Attention aux phénomènes de condensation qui se produisent lorsqu'un support se trouve en contact avec de l'air humide ayant une température plus élevée que lui (point de rosée). Se référer au diagramme de MOLLIER. La température du support doit être supérieure d'au moins trois degrés par rapport au point de rosée (voir annexe 1).

Le mélange des deux composants A et B doit être réalisé avec un malaxeur muni d'une hélice hélicoïdale à vitesse lente (300 tours/minute environ) afin de limiter l'entraînement d'air.

Poursuivre le malaxage pendant trois minutes environ jusqu'à obtenir un mélange uniforme gris clair.

Consommation approximative de colle par mètre de lamelle :

Largeur de lamelle	50 mm	80 mm	100 mm	150 mm
Sikadur®-30	250 à 350 g	400 à 550g	550 à 750 g	850 à 1250 g

La consommation peut varier suivant la planéité, la rugosité du support et les éventuels croisements de lamelles.

6.23 Pose de la lamelle Sika® CarboDur®

La lamelle sera positionnée sur la structure conformément au calepinage et au dimensionnement réalisé ou fourni par le Bureau d'études ou le Maître d'œuvre.

Mettre en œuvre la colle Sikadur®-30 par double encollage : une couche sur le béton (1 mm environ) et une couche sur la lamelle Sika® CarboDur® (1 à 1,5 mm).

L'encollage de la lamelle doit être réalisé sur un support plan.

Positionner et plaquer manuellement la lamelle sur le support ; ceci doit se faire pendant le Temps Limite d'Assemblage, soit 50 minutes environ à 20°C. Presser fortement à l'aide d'un rouleau maroufleur ; le marouflage soigné doit être poursuivi jusqu'à obtenir un reflux continu sur les bords de la lamelle. Enlever l'excédent de colle immédiatement avec une spatule et ne pas le réutiliser.

Le faible poids de la lamelle Sika® CarboDur® et la thixotropie de la résine Sikadur®-30 permettent d'obtenir le collage de l'ensemble sans maintien d'une pression d'application.

Dans le cas de la juxtaposition de deux ou plusieurs lamelles, prévoir un espace libre d'au moins 5 mm entre celles-ci afin de permettre l'évacuation de l'excès de colle.

Prélever des échantillons de Sikadur®-30 afin de contrôler la polymérisation et de décider de la remise en service de l'ouvrage (voir paragraphe 8).

6.24 Pose en superposition

Compte tenu de leur faible épaisseur et de leur souplesse, les lamelles peuvent être superposées par collage ; elles peuvent également être croisées pour réaliser des renforcements bidirectionnels.

Le collage lamelle sur lamelle s'opère de la même manière que le collage sur béton, en ayant toujours pris soin de dégraisser les faces à coller.

Au droit du croisement, rattraper l'épaisseur de la première lamelle avec du Sikadur-30® appliqué en sifflet.

Attendre le durcissement du Sikadur-30® avant d'effectuer le collage de la deuxième lamelle à croiser sur la première (en général attendre le lendemain).

6.3 Procédé SikaWrap®

6.31 Préparation du tissu SikaWrap®-230 C/45.

Découper soigneusement le tissu aux dimensions indiquées dans la note de calcul fournie par le Bureau d'Etudes.

Le tissu, une fois découpé, doit rester soit à plat, soit enroulé.

En aucun cas, il ne doit être plié afin de ne pas endommager les fibres.

Par ailleurs, veiller à le tenir hors poussière et à l'abri de l'humidité.

6.32 Préparation de la résine Sikadur®-330

- Homogénéiser chaque composant séparément dans son emballage.
- Verser la totalité du composant B dans le composant A.
- Mélanger avec un agitateur mécanique muni d'une hélice pendant 3 minutes jusqu'à obtenir un mélange uniforme de couleur grise.
- Transvaser l'ensemble du mélange dans un récipient propre, puis mélanger à nouveau pendant environ 1 minute, à faible vitesse (300 tours/minute environ) afin de limiter l'entraînement d'air.
- La Durée Pratique d'Utilisation (DPU) débute dès la fin du mélange des deux composants. Elle est plus longue à basses températures et se raccourcit à hautes températures.

Pour l'augmenter en cas de température élevée, il est recommandé de diviser la colle, une fois mélangée, en petites portions. Une autre méthode efficace consiste à stocker avant utilisation les 2 composants dans un endroit frais.

6.33 Application de la résine Sikadur®-330 et du tissu SikaWrap®-230 C/45

Etape A : mise en place de la résine

Sur le support béton préalablement préparé, appliquer à l'aide d'un rouleau pu d'une brosse le Sikadur®-330 à raison de 0,7 à 1,2 kg/m² suivant la rugosité du support.

Etape B : mise en place du tissu

Placer le tissu sur la couche d'apprêt conformément au calepinage et au dimensionnement réalisés par le Bureau d'Etudes.

Noyer soigneusement le tissu dans la résine avec le rouleau de marouflage.

Répartir la résine avec ce rouleau jusqu'à l'obtention d'une structure homogène.

Etape C : superposition de couches de tissu

Dans le cas d'application de couches supplémentaires de tissu (au maximum 2), appliquer à chaque fois une couche de résine à raison d'environ 0,5 kg/m².

A 20°C, ceci doit être réalisé dans les 60 minutes suivant la pose de la couche précédente de tissu. Au-delà, respecter alors un temps d'attente d'au moins 12 heures avant de procéder à l'application d'une nouvelle couche de résine.

Nota : en cas de température basse et/ou d'humidité relative élevée, la surface du composite peut être devenue poisseuse. Avant de poursuivre, il faut enlever ce film poisseux : laver la surface avec une éponge saturée d'eau, rincer et laisser sécher.

Reprendre l'exécution à l'étape B.

Etape D (éventuelle) : préparation avant finition

Pour augmenter la rugosité nécessaire à l'adhérence d'un enduit de finition à base de ciment, il est possible d'appliquer une couche de résine d'environ 0,5 kg/m², puis de la saupoudrer, à l'état frais, de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,1/0,6 mm.

7. Finition - Protection

7.1 Finition revêtement associés

Les revêtements associés aux deux procédés Sika® CarboDur® et SikaWrap® peuvent consister en :

- Un revêtement du type Sikagard®-680 S BetonColor, Sikagard®-675 W ElastoColor ou Sikagard®-550 W Elastic. Le revêtement est appliqué directement sur la lamelle Sika® CarboDur® préalablement dégraissée avec le Nettoyant Sikadur, ou sur le composite SikaWrap®-230 C/45 - Sikadur®-330,
- Un mortier de finition et/ou de protection à base de ciment :
  - Pour le procédé Sika® CarboDur®, dégraisser la lamelle Sika® CarboDur® avec le Nettoyant Sikadur. Appliquer à la taloche crantée une couche de résine Sikadur®-30, saupoudrée à l'état frais de sable de quartz;
  - Pour le procédé SikaWrap®, se reporter à l'étape D du paragraphe 6.33.

Pour les deux procédés, attendre le durcissement de la couche de résine sablée avant toute application du mortier.

Dans le cas d'une exposition directe au rayonnement solaire, il est recommandé de choisir un revêtement de couleur claire, par exemple Sikagard®-680 S BetonColor, Sikagard®-675 W ElastoColor ou Sikagard®-550 W Elastic ou SikaTop®-107 Protection blanc.

7.2 Stabilité au feu de la structure à renforcer

Lorsque la structure à renforcer peut être justifiée selon la norme P 92-701 (Comportement au feu des structures en béton – Règles de

calcul FEU-BETON) en faisant un calcul à l'E.L.U. en considérant les charges sans coefficient de pondération (combinaisons accidentelles) et en prenant en compte uniquement les aciers existants, alors aucune protection au feu des procédés Sika® CarboDur® et SikaWrap® n'est nécessaire.

Dans le cas contraire, une protection au feu des PRFC doit être prévue et rapportée sur les composites. Les épaisseurs de protection recommandée auront été définies sur la base d'essais au feu dans un organisme agréé.

Nota : cela ne signifie pas qu'une protection au feu des aciers existants de la structure béton armé n'est pas nécessaire (cas des enrobages insuffisants). Lorsqu'un flocage doit être appliqué en finition sur les composites PRFC, leur surface doit être dégraissée, puis recevoir une couche de résine Sikadur®-30, saupoudrée à l'état frais de sable de quartz propre et sec de granulométrie 0,1/0,6 mm.

8. Suivi de l'autocontrôle

Dès le début des travaux et tout au long du chantier, l'entreprise complète et tient à jour des fiches d'autocontrôle. Ces fiches reprennent l'ensemble des résultats des contrôles décrits ci-après.

Elles doivent pouvoir être présentées à la demande du Bureau de Contrôle ou du Maître d'œuvre.

Un exemple de fiche d'autocontrôle figure en annexe.

8.1 Contrôle du support

8.11 Contrôle de la cohésion superficielle

Après préparation du support, procéder à une série d'essais de traction directe sur le support afin d'apprécier sa cohésion superficielle et de valider la méthode de préparation utilisée (voir paragraphe 5.2.)

Les valeurs mesurées au dynamomètre de traction directe ne doivent pas être inférieures à 1,5 MPa.

Dans le cas contraire, l'entreprise doit informer immédiatement le Maître d'œuvre et/ou le Bureau de Contrôle des valeurs mesurées.

8.12 Contrôle de la planéité

Le support, sans décrochement ou saillie supérieur à 0,5 mm, doit respecter la condition de planimétrie suivante : 10 mm sous la règle de 2 m (voir paragraphe 5.3.)

8.13 Relevé des fissures

Voir paragraphe 5.5.

8.2 Contrôle des produits

8.21 Identification des lots

Relever les numéros de lots des produits utilisés dans les procédés Sika® CarboDur® et SikaWrap®.

8.22 Vérification des résistances mécaniques des Sikadur®-30 et Sikadur®-330

Après prélèvement des échantillons :

- Contrôler la polymérisation par la mesure de la dureté shore D, après 2 jours de durcissement à 20°C.

Les spécifications minimum sont indiquées en annexe.

8.3 Contrôles lors des travaux

Il s'agit ici de vérifier les conditions d'application.

- Contrôler l'humidité du support (voir paragraphe 5.1) qui doit rester inférieure à 5 %.
- Noter les dates et heures de la mise en place du Sikadur®-30 et / ou Sikadur®-330.
- Relever simultanément la température ambiante, le taux d'humidité relative et la température du support afin de vérifier l'absence de condensation sur le support pendant les opérations de collage.

8.4 Contrôles finaux

L'acceptation des travaux est faite sous la responsabilité du Maitre d'œuvre, du contrôleur technique, du maître d'ouvrage.

- Vérifier que le collage est continu sur toute la surface des renforts.
- Détecter la présence éventuelle de vides. Tout défaut décelé peut faire l'objet d'une injection de résine Sikadur®-52 Injection

9. Lois de comportement des matériaux

Les matériaux de renforcements ont un comportement élastique linéaire jusqu'à la rupture.

9.1 Loi de comportement de la Lamelle PRFC Sika® CarboDur®

	Sika® CarboDur® Lamelle	
	Type S	Type M
Module d'élasticité E_f	165 000 MPa	210 000 MPa
Allongement à rupture ε_{fu}	> 1,70 %	> 1,35 %
Allongement de calcul ε_{fd}	0,85 %	0,65 %
Résistance en traction garantie	> 2800 MPa	> 2900 MPa
Résistance de calcul f_{fd}	1400 MPa	1365 MPa

9.2 Loi de comportement du Composite PRFC SikaWrap®-230 C/45 – Sikadur®-330

	SikaWrap® -230 C/45 – Sikadur® 330
Module d'élasticité E_f	55 000 MPa
Allongement à rupture ε_{fu}	> 1,15%
Allongement de calcul ε_{fd}	0,6 %
Résistance de calcul f_{fd}	330 MPa

10. Renforcement en flexion par le procédé Sika® CarboDur®

Il est conseillé de faire appel à un Bureau d'Etudes qualifié et expérimenté en calcul de structures pour réaliser le dimensionnement des renforts Sika®.

Les hypothèses de calcul retenues sont :

- Les sections planes restent planes, et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures internes métalliques ou le Sika® CarboDur® et le béton.
- La résistance en traction du béton est négligée
- La résistance en compression du Sika® CarboDur® est négligée

Les justifications doivent comporter une vérification à l'**E**tat **L**imite **U**ltime (ELU) et une vérification à l'**E**tat **L**imite de **S**ervice (ELS).

10.1 Dimensionnement des renforts pour les structures en béton armé suivant le BAEL 91 révisé 99

10.11 Vérification préalable de la structure

Avant renforcement, c'est-à-dire en tenant compte uniquement des aciers existants et non des lamelles Sika® CarboDur®, la structure doit reprendre la totalité des charges prévues (charges initiales et charges nouvelles) à l'E.L.U. sous combinaisons accidentelles, la résistance de calcul de l'acier étant prise égale à f_e.

10.12 Dimensionnement à l'E.L.U.

Pour réaliser ce dimensionnement, nous proposons de retenir d'une manière générale la méthode de calcul à l'E.L.U. décrite dans les règles du B.A.E.L. 91 pour la détermination des armatures d'une section rectangulaire.

10.121 Le béton

Le béton est caractérisé par sa résistance de calcul en flexion f_{bu} et par son diagramme de calcul rectangulaire :

$$f_{bu} = \frac{0,85.\,f_{c28}}{1,5}$$

10.122 L'acier

L'acier est défini par sa résistance de calcul f_{su} et par son diagramme de calcul avec palier de plasticité :

$$f_{su} = \frac{f_e}{1,15}$$

10.123 La Lamelle Sika® CarboDur® (voir tableau §9.1)

La lamelle Sika® CarboDur® est caractérisée par sa résistance de calcul f_{fd} et par son diagramme de calcul linéaire.

Le module d'élasticité du matériau est noté E_f

A l'état ultime, l'allongement relatif est limité à la valeur ε_{fd}

Ainsi la résistance de calcul est égale à $f_{fd} = E_f.\varepsilon_{fd}$

On retient la valeur approchée du bras de levier :

$z = d - 0{,}4.y_u.$

Nous notons :

- $M_u =$ moment ultime
- $M_{SOLL} =$ moment sous sollicitation à l'E.L.U. dans les cas courants (S = 1,35 G + 1,50 Q),
- $b =$ largeur de la section
- $y_u =$ hauteur comprimée du diagramme rectangulaire.

Le moment résistant du béton s'exprime par :

$Mu = 0{,}8.b.y_u.f_{bu}.(d - 0{,}4.y_u)$

Comme $M_u = M_{SOLL}$, on peut calculer y_u.

y_u permet de déterminer l'effort dans le béton F_B :

$F_B = 0{,}8.b.y_u.f_{bu}$

Connaissant l'effort dans les aciers internes $F_S = A_S.f_{su}$, l'équilibre $F_B - F_S - F_f = 0$ conduit à la valeur de l'effort dans la lamelle :

$$\boxed{F_f = 0{,}8.b.y_u.f_{bu} - A_S.f_{su}}$$

La section de lamelle à retenir doit donc être supérieure à la valeur $\frac{F_f}{f_{fd}}$ (valeur de f_{fd} voir tableaux §9.1)

$$\boxed{A_{f\,(mm^2)} \geq \frac{F_{f\,(N)}}{f_{fd}}}$$

<u>Arrêt de la lamelle :</u>

Au delà la zone sollicitée et renforcée en flexion, la lamelle Sika® CarboDur® doit être prolongée d'une longueur minimum de 20 cm, correspondant à la longueur d'ancrage.

10.13 Vérifications des contraintes à l'E.L.S.

On calcule l'état de contrainte dans les deux phases :

- Phase ① avant renforcement :

  Charge initiales permanentes appliquées à la structure,
- Phase ② après renforcement :

  Nouvelles charges d'exploitation de la structure (coefficient d'équivalence de la lamelle n=12 pour lamelle de type S et n= 15 pour lamelle type M), et éventuelles nouvelles charges permanentes.

On superpose les deux états de contraintes et on vérifie que les conditions définies ci-dessous pour une fissuration peu préjudiciable sont respectées :

Béton	$\sigma_{b\,①+②} \leq 0{,}6.f_{c28}$
Acier	$\sigma_{s\,①+②} \leq f_e$
lamelle Sika® CarboDur®	$\sigma_f \leq 500MPa$

Dans les cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable, la limite dans les aciers existants est celle définie dans les règles B.A.E.L. 91.

10.14 Vérification du cisaillement de glissement en flexion

On doit vérifier que le cisaillement à l'interface entre le béton et la colle est acceptable, soit :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_f.0{,}9.d}.\frac{F_f}{F_f + F_s} \leq \overline{\tau_u} \text{ (ELU) avec :}$$

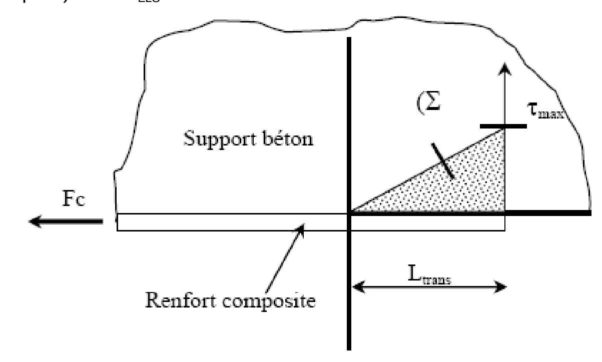
- F_f : effort de traction repris par le renfort PRFC Sika® CarboDur® à l'ELU
- F_s : effort de traction repris par les aciers passifs longitudinaux à l'ELU
- b_f : largeur de la lamelle Sika® CarboDur®

10.15 Vérification du délaminage à l'extrémité du renfort PRFC Sika® CarboDur®

La vérification du délaminage fait référence à celle proposée par les recommandations provisoires de l'AFGC.

Vérification à l'ELS

On calcule l'effort repris dans le composite à l'état limite de service dans la section située juste après la zone de transfert (Σ sur la figure ci-après). Soit F_{ELS} la valeur de cet effort.



Répartition triangulaire de la contrainte de cisaillement

On vérifie que le cisaillement maximal dans la zone de béton d'enrobage est inférieur au cisaillement admissible à l'ELS, en considérant une répartition triangulaire de la contrainte de cisaillement (en l'absence ou en négligeant l'effort tranchant sollicitant l'élément renforcé) :

$$\tau_{\max ELS} = (2.F_{ELS})/(b_f.l_{anc,d}) \leq \overline{\tau}$$

Avec $l_{anc,d}$ = 20 cm et b_f la largeur de la lamelle Sika® CarboDur®

Vérification à l'ELU

On détermine l'épaisseur minimale de renforcement nécessaire pour assurer la résistance en flexion à l'ELU de la section (Σ). Soit $t_{f\,ELU}$ cette épaisseur.

Soit F_{ELU} l'effort ultime correspondant dans le renforcement :

$F_{ELU} = E_f.\varepsilon_{fd}.b_f.t_{f\,ELU}$ (pour un pivot D)

On vérifie que le cisaillement maximal correspondant à l'introduction de l'effort F_{ELU} sur la longueur d'ancrage est inférieur au cisaillement admissible à l'ELU, en considérant une répartition triangulaire de la contrainte de cisaillement (en l'absence ou en négligeant l'effort tranchant sollicitant l'élément renforcé) :

$\tau_{\max ELU} = (2.F_{ELU})/(b_f.l_{anc,d}) \leq \overline{\tau_u}$

avec $l_{anc,d}$ = 20 cm, et b_f la largeur de la lamelle Sika® CarboDur®

10.2 Dimensionnement des renforts pour les structures en béton précontraint suivant le BPEL 91

Le calcul des structures en béton précontraint renforcées par le système Sika® CarboDur® est mené suivant les règles du BPEL.

Ce dernier définit 3 classes de vérification en ELS, classées par ordre de sévérité décroissante, fonction de l'état de fissuration envisagé, du type d'ouvrage, de l'environnement.

Classe I : concerne des ouvrages particuliers ou exceptionnels (parois étanches, réservoirs avec fluide dangereux, pièces sollicitées en fa-

tigue,….). Le béton est entièrement comprimé en tout point de la section : aucune contrainte de traction n'est admise.

Classe II : destinée aux ouvrages exposés à une ambiance agressive et à ceux qui comportent des joints ; elle se caractérise par une contrainte de traction admissible.

Classe III : intéresse essentiellement les éléments en atmosphère peu agressive (bâtiments courants).

10.21 Vérification de la flexion à l'ELS

Il faut superposer les états de contraintes avant et après renforcement (augmentation des charges)

En classe II (BPEL Art 6.1,23)

La vérification en classe II s'applique aux éléments en béton précontraint à renforcer, dimensionnés à l'origine en classe I.

Au moment du renforcement aucune traction dans le béton n'est admise: (f_{tj} = 0)

En service, le calcul des contraintes est effectué sur la section non fissurée, en vérifiant les contraintes données dans le BPEL :

- sous combinaisons rares : f_{tj} dans la section d'enrobage ; 1,5. f_{tj} ailleurs
- sous combinaisons fréquentes : 0 dans la section d'enrobage

En classe III (BPEL Art 6.1,24)

Le calcul est effectué sur la section fissurée : calcul en flexion composée en considérant l'historique du renforcement :

Etat 1 : structure à l'état initial avant renforcement

Etat 2 : application du chargement à la structure renforcée

Etat 3 : structure à l'état final correspondant à superposition des états précédents (superposition des états de contraintes)

Contraintes normales admissibles dans les matériaux :

- Contrainte de compression du béton

0,6. f_{cj} (ou 0,5 f_{cj} sous combinaisons quasi permanentes)

- Contrainte admissible pour les aciers passifs

Sous combinaisons rares : $\xi = \min\left(\frac{2}{3} fe;\ \max(0{,}5.fe; 110\sqrt{\eta.f_{tj}}\right)$

Sous combinaisons fréquentes : 0,35 f_e

Contrainte admissible pour les aciers de précontrainte : (exploitation)

Sous combinaisons rares, la surtension dans les armatures de précontrainte est limitée à :

- $0.1f_{prg}$ pour la précontrainte adhérente par post-tension
- min { $0{,}1.f_{prg}$; 150 η_p } pour la précontrainte par pré-tension

Sous combinaison fréquente : la surtension dans les armatures de précontrainte est limitée à 100 MPa

En combinaison d'exploitation: aucune traction n'est admise dans la section d'enrobage

- pour les lamelles Sika® CarboDur® : $\sigma_f < \sigma_{f\,\lim}$

  avec $\sigma_{f\,\lim}$ = 500 MPa

Section minimale des renforts Sika® CarboDur® :

Dans le cas des éléments précontraints par pré-tension, le calcul se fait sur la base de l'article 6.1.32 du BPEL.

La section minimale de renfort nécessaire dans les zones tendues est donnée par la formule :

$A_c = B_t/1000 + \{N_{Bt}/\sigma_c - A_s - A_p\}.\ F_{tj}/\sigma_{Bt}$

Avec

B_t : aire de la partie du béton tendu

N_{Bt} : résultante des contraintes de traction

σ_{Bt} : valeur absolue de la contrainte maximale de traction

σ_c : contrainte de traction admissible à l'ELS

Ces quantités sont calculées sur la section non fissurée, en classe II et en classe III.

As et Ap étant respectivement la section des armatures passives et la section des armatures de précontrainte pré-tendues, dont la distance au parement en traction est inférieure à 5 cm ou les 2/3 de la hauteur du béton tendu.

10.22 Vérification de la flexion à l'ELU

Effort dans le béton

$F_b = 0{,}8\ y_u.b.\ 0{,}85\ f_{cj}/\gamma_b$

Avec γ_b = 1,5

Effort dans l'acier passif

$F_s = A_s.E_s.\varepsilon_s\ /\ \gamma_s$

Avec γ_s = 1,15

Effort dans l'acier actif

$F_p = A_p.\ E_p.\ \Delta.\varepsilon_p\ /\ \gamma_p$

Effort dans la lamelle Sika® CarboDur®

$F_c = A_c.\ E_c\ .\ \varepsilon_c\ /\ \gamma_c$

Avec γ_c = 2

A partir de la géométrie de la structure et des efforts dans les matériaux, vérifier que le moment sollicitant reste inférieur au moment résistant de la section.

11. Renforcement à l'Effort Tranchant des structures en béton armé et précontraint par le procédé SikaWrap®

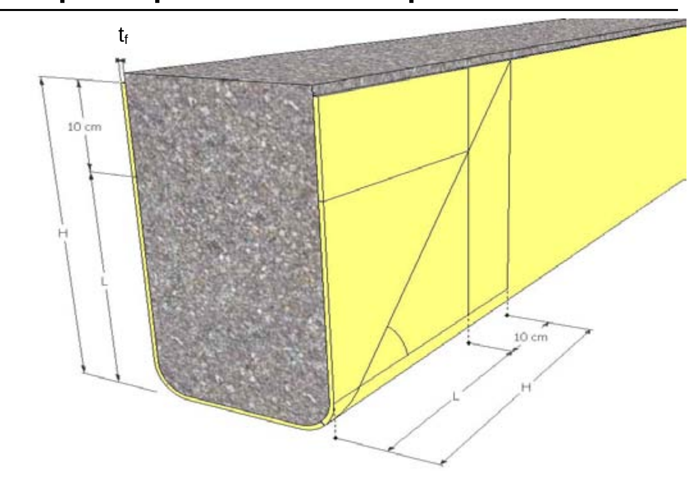


Schéma d'une poutre renforcée avec le composite SikaWrap®-230 C/45-Sikadur®-330

Principe général

Le principe de dimensionnement consiste à vérifier que, dans toute section de la structure où les aciers existants sont insuffisants vis-à-vis de la reprise de l'effort tranchant, la contrainte atteinte dans le composite PRFC **SikaWrap®** est inférieure à sa contrainte ultime de résistance.

Le composite PRFC **SikaWrap®** est composé du tissu **SikaWrap®-230 C/45** imprégné et collé au support en béton à l'aide de l'adhésif **Sikadur®-330**.

11.1 Approche B.A.E.L. et hypothèses

Le calcul de la contrainte dans le composite s'appuie sur une approche de type B.A.E.L. en retenant l'hypothèse du treillis de Ritter-Mörsch (inclinaison à 45° des fissures d'effort tranchant) et celle de Bresson qui fixe à 10 cm la longueur minimale de collage permettant de considérer la fissure inclinée à 45° comme cousue de manière efficace par le composite **SikaWrap®**. Ainsi, on ne prend pas en compte dans le calcul les derniers 10 cm à chaque extrémité du collage.

11.11 Contrainte dans le composite

On admet par hypothèse que le composite doit équilibrer l'intégralité de l'effort tranchant non repris par le béton et les aciers existants.

Si on note V_{soll} l'effort tranchant ultime total dans la section de poutre considérée et $V_{b.at}$ l'effort tranchant ultime repris par la structure existante (contribution des armatures et du béton), l'effort tranchant V_f repris par le composite SikaWrap® s'exprime par : $V_f = V_{soll} - V_{b.at}$.

Le composite doit donc reprendre une contrainte notée f_f qui vaut :

$$f_f = \frac{V_f}{A_{ft}},$$

Où A_{ft} représente la section utile du composite.

11.12 Section utile de composite

Dans une section donnée de la poutre à renforcer, la section utile du composite qui assure la reprise de l'effort tranchant est donnée par :

$$A_{ft} = 2.t_f.L$$

t_f étant l'épaisseur nominale du composite et L la longueur utile de collage.

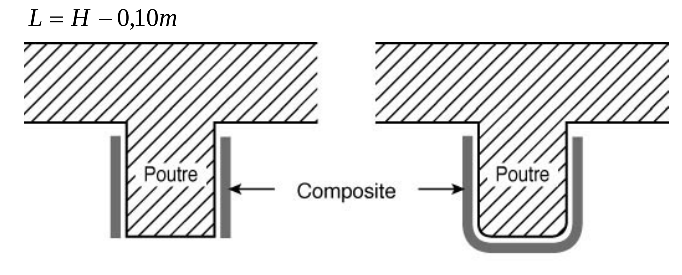
Selon la configuration du renforcement, la longueur utile de collage retenue dans le calcul s'exprime de 2 manières différentes :

- Dans le cas d'un enveloppement partiel sur les faces latérales (cas n°1) elle s'exprime par :

  $L = H - 2.0{,}10m$

  H étant la hauteur sur laquelle est appliqué le composite (en général, la retombée de la poutre) ;
- Dans le cas d'un enveloppement total en forme de U (cas n°2) elle s'exprime par :

  $L = H - 0{,}10m$



La section utile du composite s'exprime donc par :

- Cas n°1 : $A_{f_t} = 2.t_f.(H - 0{,}20)$
- Cas n°2 : $A_{f_t} = 2.t_f.(H - 0{,}10)$

De façon conventionnelle, l'épaisseur nominale d'une couche de composite SikaWrap® est définie par t_f = 0,45 mm.

11.13 Contrainte limite du composite SikaWrap®

Lorsque le renforcement est envisagé en utilisant le cas N°1 (composite collé sur les deux faces latérales sans continuité sous la poutre), l'allongement ε_{fu} est limité à $2‰$.

Dans le cas N°2 de renforcement (composite appliqué en U), l'allongement relatif est limité à $\varepsilon_{fu} = 6‰$ (pour un allongement relatif à la rupture de 11,5 ‰).

Le module d'élasticité est égal à $E_f = 55000MPa$

La contrainte de calcul est égale à :

Cas N°1 de renforcement :

$$f_{fu} = E_f.\varepsilon_{fu} = 55000.2‰ \approx 110MPa$$

Cas N°2 de renforcement :

$$f_{fu} = E_f.\varepsilon_{fu} = 55000.6‰ \approx 330MPa$$

11.2 Dimensionnement

11.21 Longueur de poutre à renforcer

Il y a lieu d'appliquer le renforcement sur toute la longueur de la poutre où l'effort tranchant sollicitant est supérieur à la capacité portante du béton et des aciers existants.

11.22 Section du composite

L'effort tranchant excédentaire V_f à reprendre par le composite SikaWrap® étant connu, il faut déterminer si une couche de tissu (qui donne une section de composite A_{ft} voir paragraphe 11.12) est suffisante pour que la contrainte engendrée au sein du composite f_f soit inférieure à la contrainte limite f_{fu} :

$f_f = \frac{V_f}{A_{ft}} < f_{fu} =$ 330 MPa ou 110 MPa selon les cas de renforcement (N°1 ou N°2).

Si ce n'est pas le cas, réitérer le calcul en considérant le nombre de couches nécessaires de composite SikaWrap®.

11.3 Vérification

Il est nécessaire de vérifier la contrainte de glissement τ_f à l'interface béton/composite.

A partir des hypothèses retenues, cette contrainte s'exprime par :

$$\tau_f = \frac{V_f}{2.0{,}10.L}$$

Elle doit être inférieure à la valeur critique $\tau_{cr} = 2MPa$

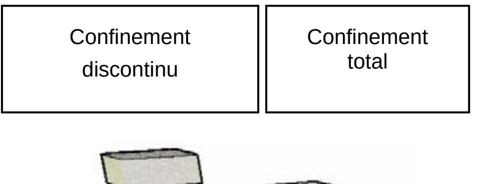
12. Renforcement de poteau par confinement à l'aide du procédé SikaWrap®

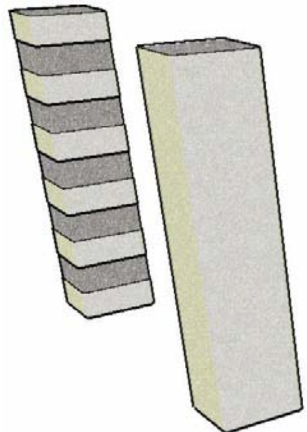
12.1 Domaine d'utilisation et Principe de dimensionnement

Le confinement par matériau composite PRFC permet d'augmenter l'effort normal que peut supporter un poteau (sain ou endommagé). L'application circonférentielle du procédé SikaWrap® (Tissu de fibres de carbone associé à la résine époxydique Sikadur®) permet, en limitant les déformations transverses du béton, d'améliorer de façon significative le comportement en compression des poteaux.

L'effet du confinement est une augmentation de la capacité portante ultime du poteau.

Le principe de calcul retenu est basé sur les recommandations de l'AFGC.





Elancement

La procédure de dimensionnement concerne uniquement des poteaux de section circulaire, carrée ou rectangulaire (dans la limite où le grand coté 'b' est supérieur ou égal à 1,5 fois le petit coté 'a') et dont l'élancement est réduit.

Pour que la méthode puisse être appliquée, les poteaux devront vérifier la condition suivante : $\lambda \le 50$ (recommandations de l'AFGC de juin 2010).

Lorsque l'élancement est supérieur à cette valeur limite, les calculs lors du dimensionnement devront faire l'objet d'une étude plus approfondie (calculs de flambement par exemple ; Les renforts longitudinaux, seront placés sous les renforts de confinement. Ceux-ci permettront de diminuer le risque de flambement des poteaux si nécessaire et leur ancrage sera grandement augmenté).

Conditions de continuité

Les renforts de poteaux devront également respecter des dispositions constructives en ce qui concerne les ancrages et les longueurs de recouvrement, les rayons de courbure des renforts, et l'espacement entre bandes de renfort.

12.2 Résistance du béton confiné

La pression de confinement f_l provenant du renfort PRFC SikaWrap s'exprime par $f_l = E_p.\varepsilon_{fud}$ avec :

ε_{fud} : déformation à rupture du renfort PRFC

E_p : module de confinement (traduit la rigidité du confinement)

$E_p = \frac{2t_f.n_p}{D}.E_f$	pour une section circulaire
$E_p = \frac{2t_f.n_p}{b}.E_f$	pour une section rectangulaire

avec

- E_f le module d'élasticité en traction du renfort PRFC SikaWrap®
- t_f l'épaisseur du renfort PRFC SikaWrap®
- 0,45 mm pour le SikaWrap® 230C/Sikadur®-330
- 0,70 mm pour le SikaWrap®-600C/ Sikadur®-300
- b le grand coté pour un poteau de section rectangulaire
- D le diamètre pour une section circulaire.

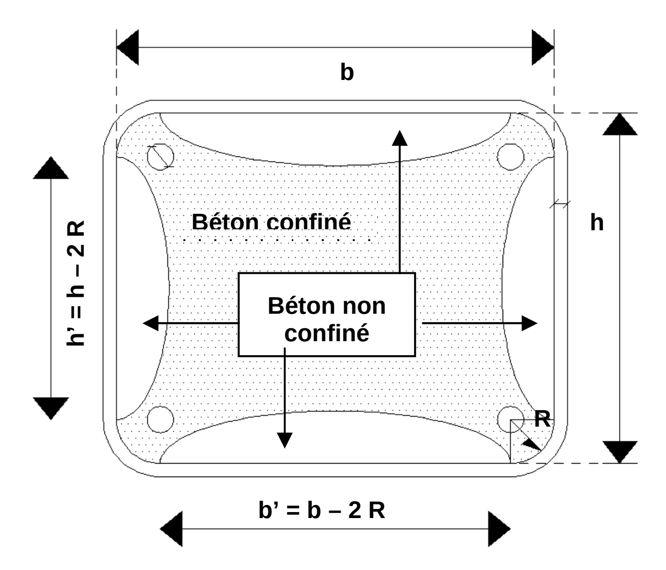
La résistance de calcul en compression du béton confiné est

$$f_{cd,c} = f_{cd} + \psi_f.\alpha.k_c.k_h.f_l$$

f_{cd}	résistance de calcul en compression du béton
ψ_f	coefficient de performance (fonction de la forme de la section du poteau)
α	coefficient d'efficacité du confinement.
k_c, k_h	coefficients minorateurs

Valeurs des coefficients à considérer :

- ψ_f = 0,8 pour une section circulaire
- ψ_f = 0,6 pour une section rectangulaire (avec angles arrondis de rayon R tel que R ≥ 35mm)
- α = 3,45 pour un béton d'usage courant f_{ck} ≤ 60MPa
- k_c : coefficient minorateur pour prise en compte de la forme de la section. Dans les poteaux de section circulaire, la pression de confinement est considérée uniforme. Par contre, dans le cas des poteaux présentant des sections rectangulaires ou carrées, seule une partie du noyau de béton est effectivement confinée, ce qui réduit l'efficacité du confinement.



Distribution non uniforme de la pression de confinement sur une section rectangulaire

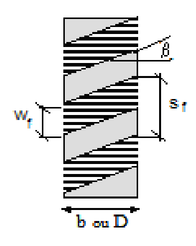
$k_c = 1 - \frac{h'^2 + b'^2}{3A_c}$	pour les sections rectangulaires
$k_c = 1$	pour les sections circulaires

- k_h : coefficient minorateur pour prise en compte du type de confinement (continu, dicontinu), la largeur w_f du renfort PRFC SikaWrap®, l'espacement S_f entre bandes et leur orientation (fonction de l'angle d'inclinaison β).

Cas du renforcement continu :

Pour un confinement total continu, $k_h = 1$.

Cas du renforcement discontinu :



Section circulaire	Section rectangulaire
$k_h = \frac{1}{1+\frac{s_f}{\pi D}} \cdot \frac{\left(1-\frac{s_f - w_f}{2D}\right)}{1-\rho_l}$	$k_h = \frac{\left(1-\frac{s_f - w_f}{2h}\right)\left(1-\frac{s_f - w_f}{2b}\right)}{1-\rho_l}$

Avec ρ_l le taux de ferraillage longitudinal (As/Ac), avec S_f fonction de β l'angle d'inclinaison des bandes et b, la longueur droite du coté (b'=b-2R).

12.3 Calcul de la portance d'un poteau confiné

Un poteau renforcé par confinement à l'aide de renfort en PRFC SikaWrap® peut reprendre la charge maximum :

$$N_{Rd} \le \gamma_\lambda \left(A_c f_{cd,c} + A_s f_{yd}\right)$$

Avec γ_λ coefficient qui dépend de l'élancement λ

$$\gamma_\lambda = \frac{0{,}85}{1+0{,}2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$$ pour $\lambda \le 50$

12.4 Dimensionnement

L'élancement du poteau à renforcer doit satisfaire la condition suivante : $\lambda \le 50$

Calcul de la résistance de calcul du béton confiné :

$$f_{cd,c} = \frac{1}{A_c}\left(\frac{N_{Rd}}{\gamma_\lambda} - A_s f_{yd}\right)$$

Calcul de la pression de confinement requise :

$$f_l = \frac{f_{cd,c} - f_{cd}}{\psi_f k_c k_h \alpha}$$

Calcul du nombre de plis nécessaire de renfort SikaWrap® :

$n_p \ge \frac{D.f_l}{2.t_f.E_f.\varepsilon_{fud}}$	Pour une section carrée

$n_p \geq \frac{b.f_l}{2.t_f.E_f.\varepsilon_{fud}}$	Pour une section circulaire

12.5 Dispositions constructives

Préparation du support et application des renforts SikaWrap®

La préparation du support doit être conforme aux recommandations de la notice du renfort PRFC SikaWrap® utilisé.

Rayon de courbure des renforts SikaWrap®

Les angles des poteaux doivent être préparés de manière satisfaire un rayon de courbure R $\geq$ 35 mm.

Espacement entre bandes de renfort SikaWrap®

L'espacement maximal entre bandes de renfort ($s_f - w_f$) sera limité à la plus petite des valeurs :

- $s_f - w_f < min(40cm; 15\phi; S_t)$
- ϕ : diamètre minimal des armatures longitudinales comprimées afin de limiter le risque de flambement de ces armatures
- S_t : distance entre les cadres d'armatures transversales.

Conditions d'ancrage et longueur de recouvrement (l_{rec}) des composites

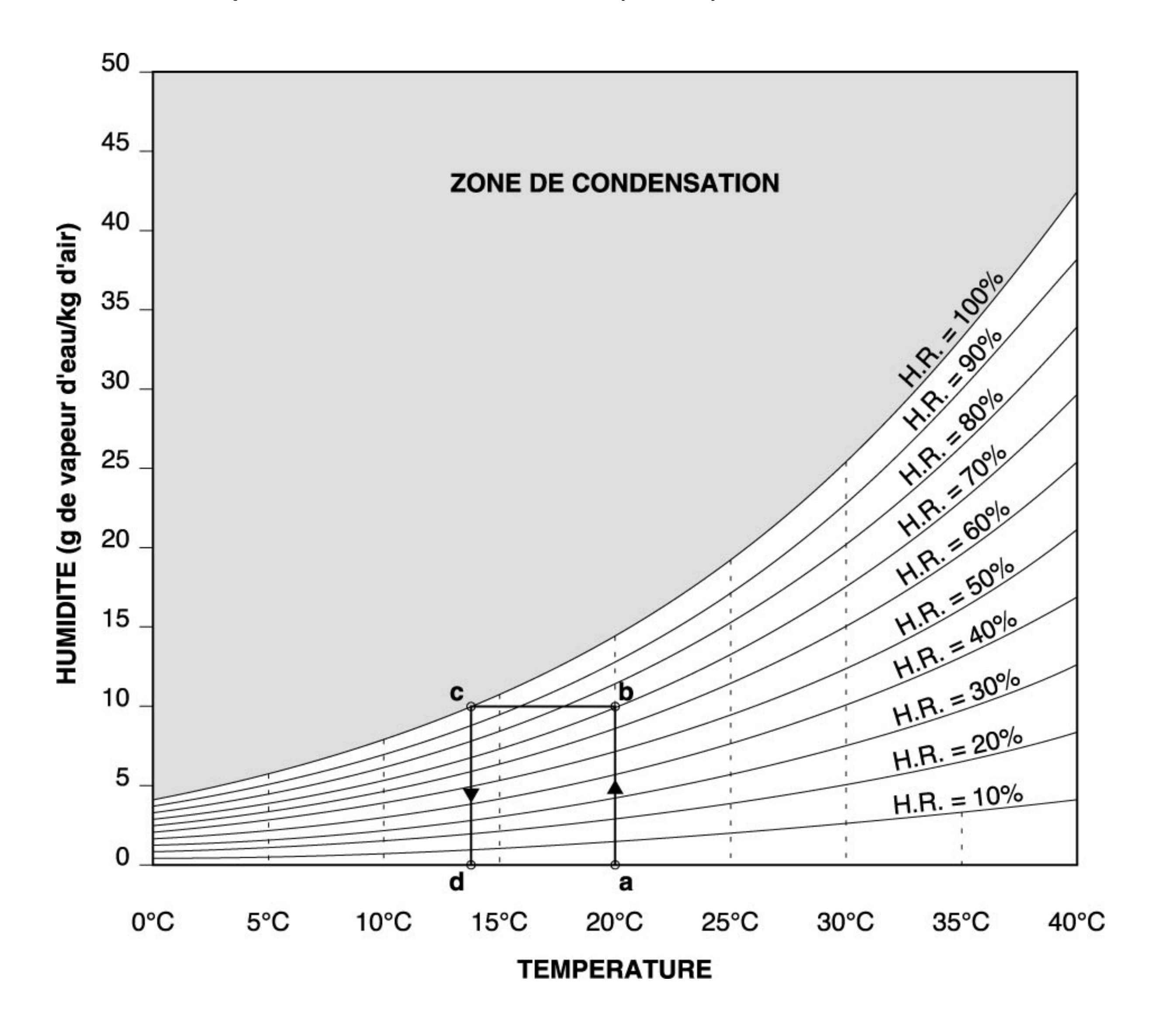
Afin d'éviter toute rupture par décollement / cisaillement interlaminaire, la longueur de recouvrement doit satisfaire la condition suivante :

$$l_{rec} \geq max\left\{\frac{f_{fu}.t_f}{\tau_{fdd}}; 10cm\right\}$$

Dans le cas d'un confinement avec renforts inclinés (renforcement en spirale), l'ancrage du renfort PRFC SikaWrap® doit être complété par une bande de renfort horizontal continu (au sommet et à la base du poteau), ancrée suivant la condition précédente, et dont la largeur est au moins égale à w_f.

Tableaux et figures du Dossier Technique

CONTRÔLE DU RISQUE DE CONDENSATION SUR LE SUPPORT (annexe 1)



Ce diagramme permet de contrôler le risque de condensation sur les supports.

Il faut connaître trois paramètres :

- La température ambiante,
- L'humidité relative de l'air,
- La température du support.

Un exemple est donné pour une température ambiante de 20°C et une humidité relative de 70 % :

- Pointer la température ambiante (point a),
- Prendre la verticale jusqu'à couper la courbe correspondante à l'humidité relative (point b),
- Suivre l'horizontale jusqu'à couper la courbe humidité relative égale 100 % (point c),
- Lire la température à la verticale de ce dernier point (point d).

Cette température est celle du support en dessous de laquelle il y a condensation.

La température du support doit donc être supérieure à cette dernière valeur augmentée de 3 degrés.

Exemple : pour une température ambiante de 20°C et une humidité relative HR de 70 %, la température du support doit être supérieure à 17°C (soit 14°C + 3°C).

EXEMPLE DE FICHE D'AUTOCONTRÔLE DE CHANTIER (annexe 2)

Entreprise : .... Date : ....

Référence chantier : ....

Type de structure à renforcer : ....

Localisation de l'application (référence, plan, étage, …) : ....

....

Nom de la personne effectuant le relevé : ....

PREPARATION DU SUPPORT Date : ....

Méthode de préparation utilisée : ....

Respect de la planéité requise : Oui o Non o

Mesure de la cohésion superficielle : Localisation : ....

Valeurs en MPa

Présence de fissures : Oui o Non o Si oui, localisation : ....

PRODUITS

- Sikadur®-52 Injection N° de lot : ....
- Sikadur®-41F N° de lot : ....
- Sikadur®-30 N° de lot : ....
- Lamelle Sika® CarboDur® N° de lot : .... Types de lamelles : ....
- Tissu SikaWrap® N° de lot : ....
- Sikadur®-330 N° de lot : ....

VERIFICATION A LA MISE EN ŒUVRE

- CONDITIONS CLIMATIQUES (variations extrêmes pour la journée)
  Mesure simultanée des 3 critères suivants :
  - Température ambiante : ....
  - Taux d'humidité relative : ....
  - Température du support : ....
- ESSAIS SUR ECHANTILLONS PRELEVES (Sikadur®-30- Sikadur®-330)

  Dureté shore D (≥ 70)

- HUMIDITE DU SUPPORT
  - Valeur ou justification en l'absence de mesure : ....

VERIFICATIONS APRES MISE EN ŒUVRE

Vérification visuelle du collage : Oui o Non o

Détection de la présence de vide : Oui o Non o Si oui, localisation : ....

REMARQUES EVENTUELLES ....